

LE CLIMAT ANNUEL DE DEUX GROTTES
ET D'UNE ÉGLISE DU POITOU,
OU VIVENT DES COLONIES PURES D'ALGUES SCIAPHILES

J.C. LECLERC¹, A. COUTÉ² et P. DUPUY³

RÉSUMÉ. — Les auteurs étudient les conditions climatiques annuelles de trois stations naturelles respectivement à *Geitleria calcarea* Friedmann (Cyanophycée), *Phragmonema sordidum* Zopf (Rhodophycée) et *Cyanidium* sp. (Rhodophycée). Les variations de l'éclairement, de la température et de l'humidité sont enregistrées aux différentes saisons.

SUMMARY. — The authors study the annual climatic conditions of three natural resorts where grow respectively a Cyanophyceae : *Geitleria calcarea* Friedmann and two Rhodophyceae : *Phragmonema sordidum* Zopf and *Cyanidium* sp. The variations of illumination, temperature and humidity have been recorded during the four different seasons.

INTRODUCTION

Dans certains milieux terrestres ou aquatiques très faiblement éclairés, vivent des algues qui présentent des caractères particuliers d'adaptation de la photosynthèse. La connaissance la plus exacte possible du biotope, en particulier de ses variations d'éclairement et de température au cours de la journée, est nécessaire pour la mise au point des essais de laboratoire et les interprétations écologiques et physiologiques ultérieures. Beaucoup d'algues, en effet, présentent un cycle journalier de leur capacité photosynthétique en milieu naturel (PREZELIN et LEY, 1980) ainsi que des variations nettes de rendement photosynthétique ou d'activité métabolique à certains seuils d'éclairement (HEALEY et MYERS, 1971; LECLERC et al., 1981 et 1982) ou de température comme

1. Laboratoire de Structure et Métabolisme des Plantes, Bat. 430, 91405 Orsay.

2. Laboratoire de Cryptogamie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 12 rue Buffon, 75005 Paris. — L.A. n° 257 (C.N.R.S.).

3. Laboratoire de Phycoécologie, U.E.R. Sciences, 40 Avenue du Recteur Pineau, 86000 Poitiers.

c'est le cas chez des plantes supérieures (PHILLIPS et Mc WILLIAMS, 1971). Il est donc indispensable de bien connaître les variations brusques possibles d'intensité lumineuse ou de température, ainsi que leurs limites extrêmes au cours des saisons, afin d'entreprendre au laboratoire une expérimentation en contrôlant au mieux l'environnement en vue de reconstituer l'histoire annuelle de la physiologie des organismes dans la nature.

Pour éviter une dispersion des données, le choix, dans une première étape, de milieux aériens confinés et de populations monoalgales nous est apparu judicieux limitant ainsi les variations climatiques essentielles à l'éclairement, la température et l'humidité de l'air.

LE MATÉRIEL

Trois espèces très différentes sont étudiées ici :

- a) Une Rhodophycée bangiophycée aérienne, *Phragmonema sordidum* Zopf, de l'ordre des Gonlotrichales et de la famille des Phragmonématacées.
- b) Une Cyanophycée aérienne calcifiée, *Geitleria calcarea* Friedmann, de l'ordre des Stigonématales et de la famille des Stigonématacées.
- c) Une algue de position systématique encore incertaine appartenant probablement au genre *Cyanidium* rangé parmi les Rhodophycées.

Ces trois taxons vivent à l'état d'au moins quelques populations très pures dans trois stations particulièrement étudiées.

LA STATION A GEITLERIA CALCAREA

Cette station se trouve dans la grotte de la Grande Roche située en la commune de Quincay à l'ouest de Poitiers, sur le flanc Est-Nord-Est d'une petite vallée sèche occupée par un ancien perchis de chênes et de noisetiers formant un couvert assez dense. Il s'agit d'une cavité naturelle creusée dans le calcaire Bathonien. L'ouverture est orientée vers l'Ouest-Sud-Ouest.

La hauteur de la grotte à l'entrée n'excédait pas deux mètres à l'origine et un énorme rocher barrant transversalement la grotte à trois ou quatre mètres de l'entrée, ne laissait qu'une ouverture d'un mètre de hauteur sous le plafond pour le passage de la lumière. La destruction du rocher d'entrée et les fouilles archéologiques commencées en 1968 n'ont pu être pas directement affectées les colonies de *Geitleria* les plus proches de l'entrée mais provoqué leur envahissement par des chlorophycées qui étaient absentes auparavant. La hauteur de la grotte près de l'entrée a donc été portée à près de quatre mètres, et sa largeur à environ trois mètres. Des fouilles ont été effectuées jusqu'à onze mètres de l'entrée (Fig. 1 et 2) alors que toute la moitié postérieure est restée intacte. La profondeur de la grotte est de vingt mètres environ. Plusieurs diverticules la prolongent de quelques mètres. La largeur de la cavité est en moyenne de dix mètres (Fig. 2). Le plafond constitué par la roche calcaire demeure appro-

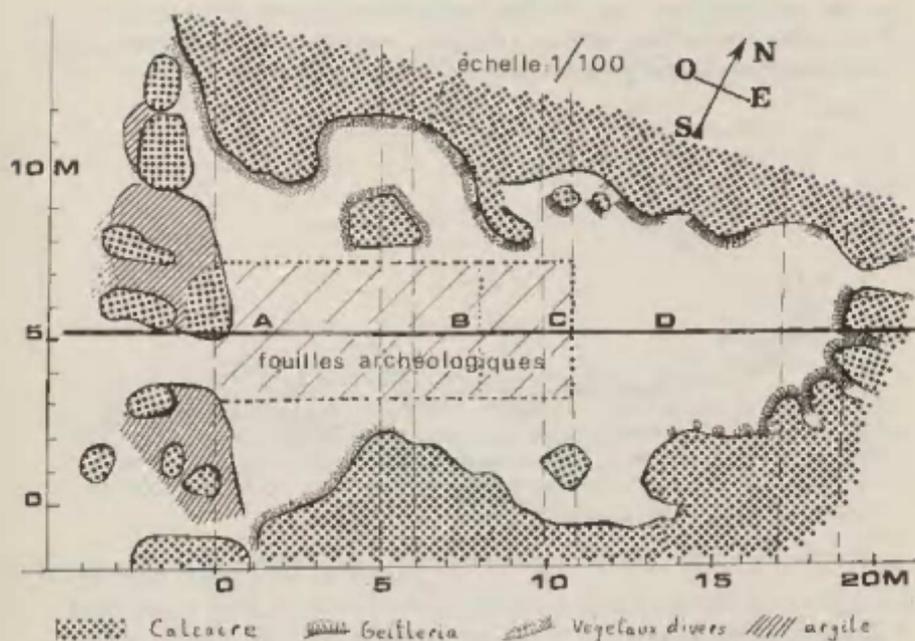


Fig. 1. — Coupe horizontale de la grotte de Quinçay. Le pointillé montre les limites actuelles des fouilles archéologiques, il en est résulté sur 1/3 environ de la largeur de l'entrée une plus grande hauteur d'entrée de la lumière.

ximativement horizontal. Le sol actuel s'élève progressivement en allant vers le fond et il surmonte plusieurs niveaux paléolithiques comprenant de nombreux blocs calcaires inclus dans un sédiment argilo-sableux. Au point de vue historique, cette grotte a été occupée pour la première fois semble-t-il, au Castel-perronien (35.000 à 30.000 A.C.) et par la suite au Tardenoisien, à l'âge de bronze, à l'époque gallo-romaine, et même au moyen-âge comme lieu de refuge.

Le porche de la grotte est tapissé depuis le sol jusqu'à la voûte par divers lichens et mousses. En allant vers l'intérieur de la cavité, les lichens se raréfient rapidement, puis les mousses; ils sont progressivement envahis puis remplacés par des colonies hétérogènes de Chlorophytes et de Cyanoschizophytes. Cette végétation est plus abondante sur la paroi nord, globalement mieux éclairée, que sur la paroi sud et surtout le plafond (région A sur les figures 1 et 2). Entre cinq et neuf mètres de profondeur (région B, fig. 1 et 2) les colonies d'algues disparaissent complètement à leur tour sauf sur la paroi nord qui garde des colonies de Cyanophycées et Chlorophycées dont quelques unes mêlées de *Geitleria* qui étaient seuls avant la désobstruction de la grotte. Entre neuf et dix-huit mètres de profondeur, la paroi nord (zones C et D des figures 1 et 2) porte un revêtement presque continu de *Geitleria* qui forment une véritable «ceinture» de dix à quarante centimètres de largeur au-dessus de la surface

du sol argilo-sableux. Ces colonies apparaissent comme un microgazon gris de un millimètre de haut environ, très dense, constitué par des filaments légèrement ramifiés de l'algue qui sont enrobés d'une gaine de calcaire.

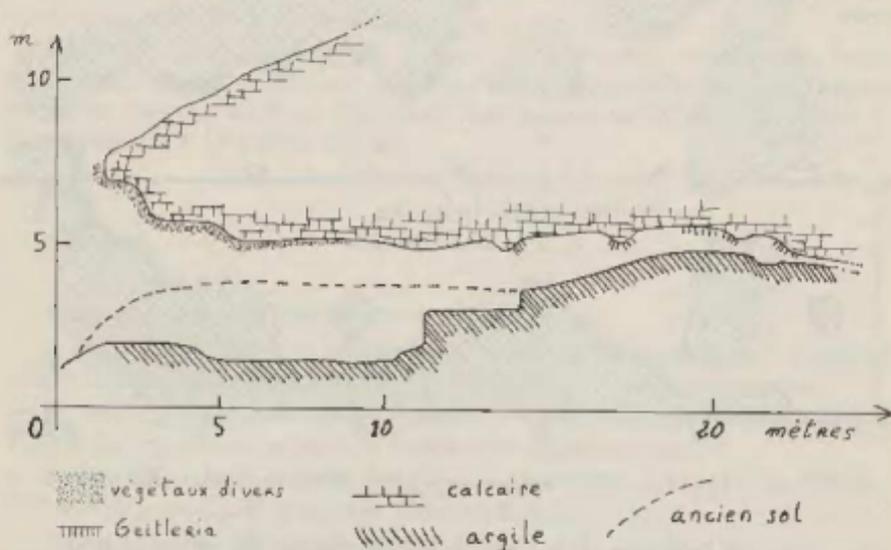


Fig. 2. — Coupe verticale générale de la grotte de Quinçay.

L'examen du plafond proprement dit est particulièrement intéressant car la roche qui le constitue a donné naissance à de larges (jusqu'à cinquante centimètres de diamètre) mais très courtes stalactites (de dix à vingt cm de long seulement) pourtant généralement actives. Ceci est dû au fait que le plafond actuel est le résultat d'un nettoyage par un très fort tremblement de terre qui eut lieu il y a environ quatorze mille ans, au début du Magdalénien supérieur. Vers dix mètres de profondeur, après une zone abiotique (Fig. 3, zone I du plafond), apparaissent des colonies de *Geitleria* (zone II de la fig. 3) sur les stalactites, mais seulement du côté opposé à l'entrée de la grotte, donc «à l'ombre»; toujours à ce niveau du plafond il existe une stalactite où les *Geitleria* sont enrobés au fur et à mesure de leur croissance dans le dépôt de calcaire translucide. Entre douze et seize mètres de profondeur (zone III, fig. 3) les colonies sont présentes non seulement sur une partie de la face à l'ombre des stalactites mais aussi sur quelques parties à peu près horizontales du plafond. Au-delà de seize mètres, le *Geitleria* forme de très beaux revêtements sur la roche du plafond mais uniquement sur les surfaces horizontales ou bien orientées vers l'entrée de la grotte (zone IV, fig. 3). Le fond de la grotte proprement dit (zone V) porte de belles colonies, y compris sur les parois du début des diverticules mais seulement sur quelques dizaines de cm et si l'orientation

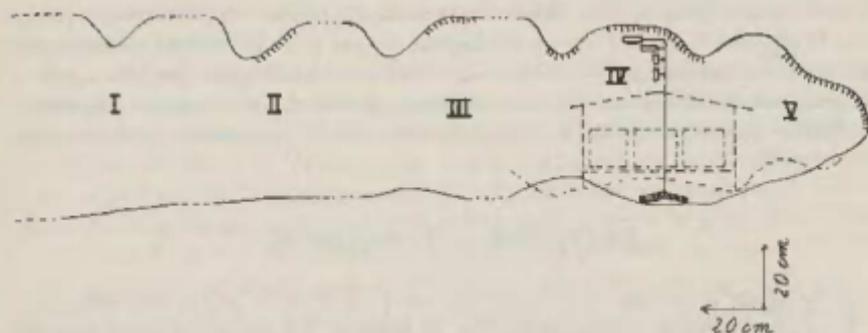


Fig. 3. — Représentation schématique de la localisation des colonies de *Geitleria* sur le plafond et sur le fond de la grotte de Quinçay (approximativement dans le plan médian de la grotte). La localisation des appareils de mesures est représentée. Les colonies sont représentées par les petits traits perpendiculaires aux parois.

vers l'entrée de la grotte est bonne.

Indépendamment des problèmes d'orientation vers la lumière selon l'intensité de celle-ci, les *Geitleria* ne poussent que sur les surfaces calcaires relativement propres et jamais sur les substrats argileux qui tapissent le sol ou quelquefois les parois et leurs fissures.

LA STATION A *PHRAGMONEMA SORDIDUM*

Le *Phragmonema* est présent dans quelques églises des Deux-Sèvres mais il en existe des colonies particulièrement pures à Soudan (près de St Maixent) et à Verrines-sous-Celles où ont été effectuées les études.

L'église de Verrines, édifiée en calcaire à grain fin, de style roman, date du début du XI^e siècle. Son chœur est situé à l'Est-Sud-Est. La lumière pénètre par des baies orientées de tous côtés mais peu nombreuses, de petites dimensions et relativement élevées. Le portail principal est rarement ouvert, et c'est la seule entrée importante possible d'air extérieur. Un ruisseau souterrain, bien canalisé, coule juste sous les dalles du sol, selon l'axe principal du monument.

Le *Phragmonema* est présent sur le sol et à la base des murs tout autour de l'édifice mais en mélange avec d'autres algues appartenant à des embranchements différents (Cyanoschizophytes et Chlorophytes). Les colonies ne deviennent véritablement importantes et pures que dans des zones situées à des hauteurs variables selon les murs. Les colonies monoalgales se présentent sous la forme d'une croûte calcaire de couleur lie-de-vin, pouvant souvent être détachée de la pierre par petites plaques. En ce qui concerne le mur sud, où les populations de *Phragmonema* sont les plus belles, les colonies se trouvent entre soixante et quatre-vingt cm du sol de la nef, mais seulement à vingt à quarante cm du dallage très surhaussé dans le chœur où ont été réalisées les mesures.

Au-dessus de cette zone, seules existent quelques colonies de différentes Cyanophycées là où suinte de l'eau venant des voûtes. La même disposition se retrouve dans l'église de Soudan. L'étude écologique de ces populations est moins facile que pour le *Geitleria* car le substrat est bien plus hétérogène (moellons mis à nu, mortiers de différentes natures, crépissages variés et plus ou moins dégradés), et d'autre part une fréquentation humaine réduite provoque quelques perturbations.

LA STATION A *CYANIDIUM* SP.

Cette algue se trouve en population très pure dans la grotte de Pied-Griffé à Angles-sur-l'Anglin, département de la Vienne. La grotte s'ouvre sur une falaise morte bordant l'Anglin, la roche est en calcaire Rauracien. L'entrée de la grotte fait face à l'Est et mesure sept à huit mètres de large sur un à trois mètres de haut selon les endroits. Au-delà de l'entrée, la grotte devient rapidement plus large et plus haute. Le plafond s'élève légèrement cependant que le sol descend de sept à huit mètres, de l'entrée au fond. La profondeur de la grotte semble d'environ quarante mètres. La largeur est d'une trentaine de mètres. Le fond de la grotte montre des bancs de calcaires très épais, à peu près horizontaux, et dont certains font saillie, ce sont ces derniers qui portent les colonies de *Cyanidium*. On observe trois colonies principales, séparées chacune de quelques mètres et disposées sur des surfaces orientées perpendiculairement aux rayons lumineux. L'entrée de la lumière est gênée tant vers l'ouverture que vers le milieu de la grotte par la présence d'énormes rochers qui sont probablement tombés lors du grand tremblement de terre qui affecta la région. Le sol, très accidenté, est essentiellement argileux vers l'entrée et presque uniquement pierreux au fond où il se localise à deux à trois mètres en-dessous des colonies de *Cyanidium* d'un bleu-vert intense et très uniforme. Les algues ne sont ni enrobées comme chez *Geitleria* ni même partiellement entourées de calcaire comme chez *Phragmonema*. La grotte n'a que peu d'infiltrations d'eau apparentes.

Il n'existe que quelques colonies de Cyanophycées et Chlorophycées diverses sur les faces éclairées des rochers jusqu'à une quinzaine de mètres de l'ouverture. Ainsi l'éloignement spatial de *Cyanidium* de toute autre espèce d'algue apparaît très net, encore plus que pour *Geitleria*.

LES MÉTHODES DE MESURES

Des mesures sur plusieurs jours ont été possibles à Quinçay et à Verrines, stations protégées où les appareils peuvent donc être laissés sans surveillance. Il n'en est pas de même à Angles, où la grotte est accessible à tous : les mesures ont dû y être effectuées sur des périodes d'une journée au maximum.

Les mesures ont été réalisées aussi près que possible des équinoxes et des solstices; l'appareillage étant unique, il a fallu se limiter à des périodes de me-

sures hebdomadaires à Verrines et à Quinçay ce qui s'est avéré suffisant sauf en été où les conditions météorologiques plus stables ont entraîné deux semaines de mesures à Verrines.

Dans les grottes de Verrines et d'Angles où l'éclairement est assujéti à la couverture végétale extérieure, les mesures ont été réalisées à la fin mars où les arbres n'ont pas encore leurs feuilles et aussi à la fin septembre où le feuillage est encore en place. A Verrines par contre, l'éclairement étant indépendant de la végétation, les enregistrements ont été entrepris volontairement huit à quinze jours après les équinoxes afin d'obtenir des durées de jours assez différentes (11 h 40 et 12 h 40 mesurés à plus de 0,5 lux par beau temps).

Les variations de température et d'humidité ont été étudiées à l'aide d'enregistreurs à entraînement mécanique «Richard-Peckly», favorables à des travaux sur le terrain en raison de leur robustesse. Les enregistrements de l'éclairement, pour leur part, ont été réalisés à l'aide de différents détecteurs connectés à un enregistreur galvanométrique multivoies «Ponselle», alimenté par pile. Trois cellules solaires, de respectivement 0,4, 0,9 et 4 cm² ont toujours été employées. Elles ont été réglées par potentiomètres afin de permettre des enregistrements d'éclairement de 0 à 2000 lux pour la première, 0 à 150 ou 250 lux pour la seconde et 0 à 35 ou 50 lux pour la troisième. Une quatrième cellule solaire, de 8 mm² et réglée par potentiomètre et shunt, de 0 à 8000 lux n'a été utilisée que dans la grotte d'Angles. Enfin un luxmètre «Mavolux» a été employé pour les éclairements de 0 à 5 lux, 0 à 16,6 lux ou 0 à 33.000 lux. Ce système a rendu possible l'enregistrement automatique de tous les éclairements supérieurs à 0,1 lux.

Un système d'étalonnage à filtres interférentiels et à cellule solaire calibrée par un bolomètre a permis, en lumière solaire atténuée, d'admettre qu'un éclairement de 1000 lux correspond à $5 \pm 0,5 \text{ W.m}^{-2}$ pour l'ensemble des longueurs d'ondes de 400 à 730 nm. Pour des longueurs d'onde supérieures à 730 nm l'activité photosynthétique n'est plus décelable chez nos échantillons.

Dans l'église de Verrines et la grotte d'Angles, les détecteurs fixés sur une seule potence étaient tous disposés parallèlement au mur ou à la paroi portant les colonies d'algues, à quelques centimètres de celles-ci. A Verrines, les mesures ont été faites le long du mur sud du chœur, et à Angles près de la colonie la plus au nord. Dans la grotte de Quinçay (Fig. 3), les détecteurs ont été placés dans la zone IV du plafond; deux (gamme 0-5 ou 0 à 16,6 lux et 0 à 50 lux) étaient disposés parallèlement au plafond, leur surface sensible dirigée vers le bas, les deux autres (gamme 0 à 150 et 0 à 2000) étaient perpendiculaires à la voûte et avec leur surface sensible tournée vers l'entrée de la grotte. Cette disposition permettait d'intercepter, dans la mesure du possible, tous les rayons lumineux parvenant aux colonies de *Geitleria*.

A Quinçay et à Verrines, les appareils enregistreurs ont pu être placés sous un abri (Fig. 3) constitué par une armature fine en bois couverte d'une feuille de polyéthylène protégeant efficacement contre tout écoulement d'eau. La disposition des lieux n'a pas rendu cela possible à Angles. La connexion avec les détecteurs de lumière était réalisée au moyen de câbles blindés recouverts d'une gaine plastique.

RÉSULTATS

1. — TEMPÉRATURE

Seules les variations correspondant à des journées typiques de beau et de mauvais temps à Verrines et à Quinçay sont consignées dans le Tableau I.

Dans la grotte de Quinçay, on constate, malgré l'importance du développement en profondeur de la grotte, des variations annuelles assez marquées s'étalant de 6 à 13°C. Cependant les variations journalières sont limitées, atteignant par beau temps 1,2°C avec un minimum vers 9 h du matin, et seulement 0,3 à 0,4°C par temps couvert.

Dans l'église de Verrines, les variations annuelles sont plus importantes, s'étalant de 4 à 15°C environ, mais l'évolution journalière demeure faible avec seulement des écarts de 0,3 à 0,9°C par beau temps.

Les résultats très fragmentaires d'Angles (Tableau II) montrent que cette grotte est particulièrement froide, et que les variations sur 24 h y sont négligeables.

2. — HUMIDITÉ

Les évolutions du degré hygrométrique sont présentées dans les tableaux II (Angles sur l'Anglin) et III (Quinçay et Verrines). Comme pour la température, seules ont été retenues ici des valeurs caractéristiques de jours de beau ou de mauvais temps.

La grotte de Quinçay apparaît relativement sèche. On ne dénote que d'assez rares suintements au plafond. Par beau temps, l'humidité tombe à 80 % en hiver et ne dépasse pas 92 à 93 % les jours pluvieux ou bien pendant quelques heures de l'après-midi par beau temps. Ces dernières correspondent à un potentiel hydrique de l'atmosphère de l'ordre de - 100 Atm.

A Angles sur l'Anglin, l'humidité de la grotte apparaît très stable et est dans l'ensemble un peu plus grande que dans la grotte de Quinçay. Les suintements d'eau sont pourtant rares à Angles mais le sol du fond de la grotte n'est que très peu, semble-t-il, au-dessus du niveau d'eau de l'Anglin.

Dans le cas de l'église, on observe une humidité particulièrement forte en hiver (98 %, le 3/2/81). De plus, à l'occasion de changements de temps, l'humidité peut varier assez brutalement. Ainsi, le 2/2/81, le degré hygrométrique, de 89 % le matin par ciel clair, est passé 12 heures plus tard à 95 % avec un temps pluvieux. Ce changement correspond à une augmentation journalière du potentiel hydrique de l'atmosphère, d'environ - 150 atm à - 60 atm.

3. — ÉCLAIREMENT

3a) Grotte de Quinçay

Les variations de l'éclairement dans la zone IV du plafond sont consignées dans le tableau IV et la figure 4. Pour l'établissement de cette dernière, seules

quatre journées, une pour chaque saison, typiques de beau temps ont été représentées. Ceci a exigé parfois de procéder à des reconstitutions à partir d'enregistrements de deux ou trois journées successives (comportant chacune quelques passages nuageux) pour estimer l'éclairement d'un jour de beau temps continu, de tels cas étant rares. Dans le tableau IV par contre sont portées des indications concernant uniquement des journées réelles.

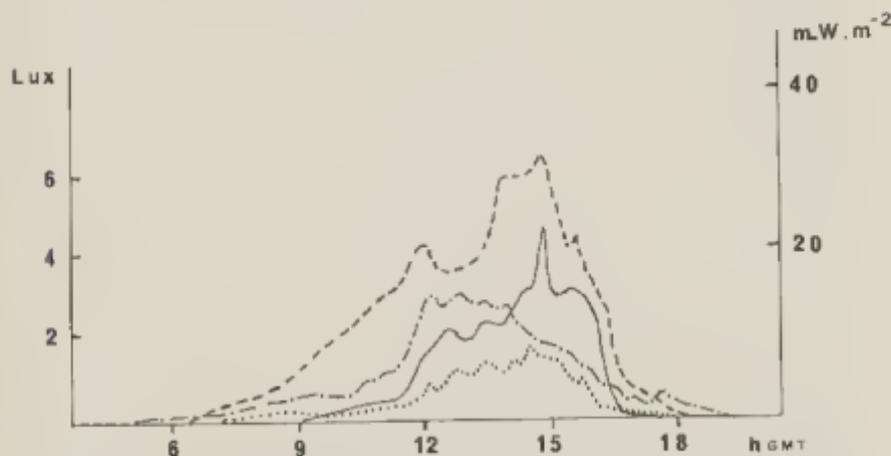


Fig. 4. — Variations journalières de l'éclairement sur les parties horizontales du plafond de la zone IV de la grotte, pour des jours de beau temps continu. — : début février; : fin mars; - - - - : fin juin; - . . . : début octobre.

A partir de nos résultats, on peut constater que l'éclairement est généralement plus important l'après-midi que le matin. Les valeurs les plus fortes sont atteintes en hiver et au début du printemps. De plus, au cours d'une journée, l'éclairement n'est proche de son maximum que pendant une durée faible. Ainsi, sur la courbe d'enregistrement d'une journée hivernale ensoleillée, la valeur maximale d'éclairement d'une surface horizontale est de 23 mW.m^{-2} . L'éclairement n'est, ce jour, supérieur à 16 mW.m^{-2} (soit 70 % du maximum) que durant environ 20 min. et n'est supérieur à 50 % que pendant 2 h. En été, le maximum est de 15 mW.m^{-2} ; l'éclairement n'en dépasse les 70 % ($10,5 \text{ mW.m}^{-2}$) que pendant 2 h 30 et les 50 % que durant 4 h.

D'après les enregistrements, on constate que les détecteurs verticaux reçoivent environ 15 fois plus de lumière que les détecteurs horizontaux (Tableau IV). Ainsi les algues se développant en zone IV du plafond sur une surface horizontale ont un éclairement maximum de 25 mW.m^{-2} (soit 5 à 6 lux) tandis que celles développées sur des faces inclinées jusqu'à 30° reçoivent jusqu'à 7 fois plus d'énergie lumineuse.

Pendant les saisons caractérisées par l'absence de couverture foliaire, l'éclairement de la zone IV est de 15 à 20 fois plus fort par beau temps que par temps

de pluie.

Enfin, on peut noter des variations très brusques d'intensité lumineuse, telle la pointe vers 14 h 45 en hiver (durée 20 min.) ou les brusques montées vers 12 h et descentes vers 16 à 17 h.

3b) Grotte d'Angles sur l'Anglin

Les résultats des mesures fragmentaires effectuées sont présentés dans le tableau V et la figure 5. Beaucoup de points paraissent semblables entre les deux grottes : l'éclairement journalier n'est proche de son maximum que durant quelques heures par jour; il est bien sûr très faible, et, du fait de la présence d'arbres à feuilles caduques à l'entrée, l'éclairement est meilleur en hiver qu'en été ou au début de l'automne. Mais un phénomène curieux existe à Angles : du fait de la disposition spatiale de la grotte et de ses colonies de *Cyanidium*, certaines au moins de ces dernières peuvent être directement éclairées par le soleil, pendant quelques minutes et seulement quelques jours par an. La trajectoire du soleil observée à la fin janvier 1982 avait permis de le supposer et donc de venir à Angles vers le 15 mars à l'occasion d'une journée de beau temps. Le 13 mars nous avons donc observé que le soleil, dès son lever au-dessus des pentes de la rive droite de l'Anglin, entre profondément dans la grotte; une tache ensoleillée (mesurant environ 2 m de large sur 50 cm de haut) parcourt alors le fond de la grotte et éclaire pendant environ 12 minutes chaque point de la large colonie de *Cyanidium* où ont été effectuées les mesures (Tableau V et fig. 5). Ensuite la tache ensoleillée éclaire les parties les plus basses de la grotte où aucune algue ne vit. Le 20 mars la tache de soleil s'est bien sûr déplacée à hauteur égale vers le sud et n'effleure plus qu'à peine la colonie de *Cyanidium*. Ainsi chaque point de cette vaste colonie ne peut être exposé au soleil qu'une dizaine de jours par an au maximum, à condition bien sûr qu'il fasse beau tous les matins à la période favorable! On observe aussi que l'ensoleillement est

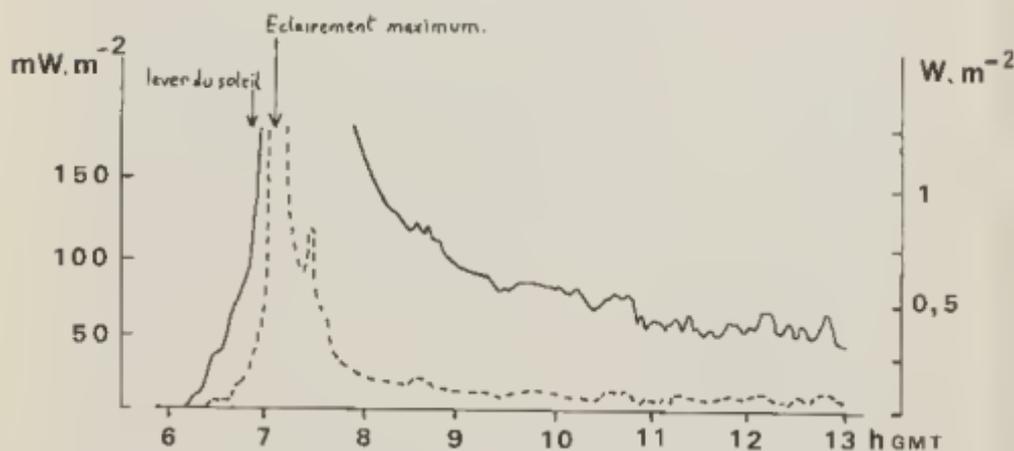


Fig. 5. — Éclairement de la grotte d'Angles le 13 mars 1982. En trait plein : échelle d'éclairement en $mW \cdot m^{-2}$. En tirets : échelle d'éclairement en $W \cdot m^{-2}$.

atténué : il n'atteint que 15.000 lux (75 W.m^{-2}), augmente très brusquement de pratiquement zéro au maximum en 2 à 3 minutes, et décroît ensuite plus lentement en-dessous de 1 W.m^{-2} en une dizaine de minutes environ.

c) Église de Verrines

Les variations de l'éclairement dans l'église au niveau des colonies de *Phragmonema sordidum* sont présentées dans le tableau VI et la figure 6. Pour l'établissement de cette dernière, il a été procédé comme mentionné ci-dessus à propos de la grotte de Quinçay. De même dans le tableau VI, on trouve les indications concernant des journées réelles.

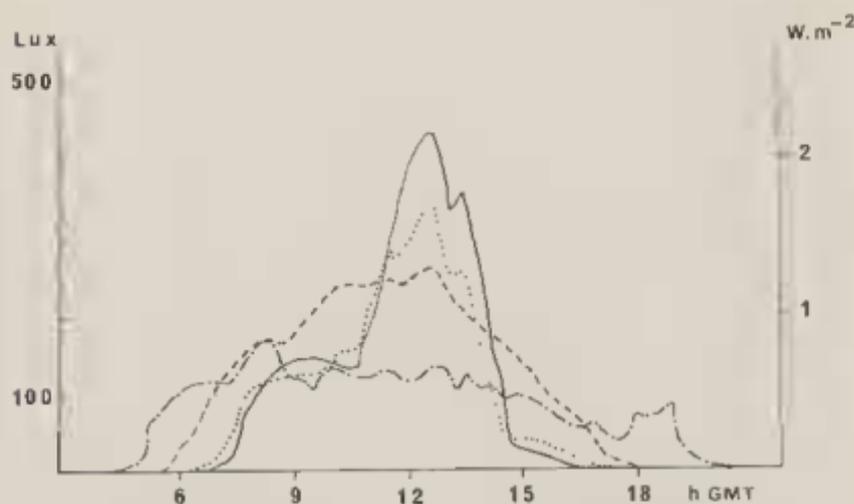


Fig. 6. - Variations journalières par beau temps de l'éclairement sur la face interne (tournée vers le Nord) du mur Sud de l'église, mesurées à 40 cm de hauteur. Les légendes des courbes sont identiques à la fig. 4.

On observe ici que les valeurs de l'éclairement les plus fortes sont atteintes en hiver avec $2,15 \text{ W.m}^{-2}$ vers 12 h 45, et en automne avec $1,7 \text{ W.m}^{-2}$ au même moment de la journée. Mais ces pics d'éclairement n'ont, là encore, qu'une durée assez brève. Ainsi à la fin janvier, on n'enregistre par beau temps un éclairement supérieur à $1,05 \text{ W.m}^{-2}$ (soit 50 %) que pendant 3 heures. Par contre, au printemps et en été, les plages d'éclairement proche du maximum sont très larges. Ainsi au printemps, où le maximum est de $1,3 \text{ W.m}^{-2}$ on atteint une valeur au moins égale à 50 % pendant 8 heures. De même en été (maximum = $0,85 \text{ W.m}^{-2}$), la durée d'un tel éclairement est de l'ordre de 10 heures.

De plus, des variations très brusques se produisent vers 11 h et 14 h en automne et en hiver, et vers 5 h et 19 h en été. Dans tous les cas, il s'agit de périodes où le soleil est assez bas sur l'horizon.

DISCUSSION

Les trois stations considérées ici présentent assez peu de différences entre elles du point de vue de la température et de l'humidité. On peut toutefois noter que dans les deux grottes les écarts annuels entre température minimale et température maximale sont plus faibles que dans l'église; cela tient sans doute au moins bon isolement thermique de cette dernière. Les variations journalières de température demeurent faibles, en général inférieures à 1°C, quelque soit le temps. Les quelques mesures qui ont pu être effectuées à Angles montrent clairement que la grotte aux *Cyanidium* est particulièrement froide. Une explication pourrait en être que l'entrée étant d'une dizaine de mètres plus haute que le fond, de l'air froid peut y pénétrer facilement en hiver, voire même tôt le matin en été.

L'hygrométrie montre des écarts annuels dans la grotte de Quinçay qui sont de l'ordre de 12 à 13% et peuvent atteindre dans l'église de Verrines, jusqu'à 15%. Les écarts journaliers cependant n'excèdent pas 6% dans la grotte de Quinçay tandis qu'à Verrines on peut noter jusqu'à 11%. Paradoxalement d'ailleurs ces modifications sensibles ont lieu plutôt par beau temps que par jour pluvieux. Le réchauffement du sol humide pourrait être à l'origine de cette augmentation du degré hygrométrique lorsque le soleil éclaire une partie de la grotte de Quinçay ou de l'église. Bien que le soleil puisse durant quelques jours pénétrer jusqu'au fond de la grotte d'Angles, l'humidité y est toujours étonnamment stable; bien sûr l'inertie de l'hygromètre ne permet pas de détecter des variations très locales qui ne dureraient que quelques minutes, mais il faut considérer surtout que la grotte étant de très grande dimensions la présence fugace d'une tache ensoleillée ne peut changer les choses.

Le régime lumineux est très différent dans les trois stations. Ainsi *Geitleria calcarea* occupe une niche écologique très précise où l'éclairement du plafond est, selon l'heure et le temps ensoleillé ou pluvieux, de 1/10.000e à 1/100.000e de ce qu'il est à l'extérieur au même moment l'éclairement d'une surface de stalactite inclinée de 30° orientée vers la sortie n'est encore que de 1/1500e à 1/15000e de celui en terrain découvert. Les valeurs minimales du rapport : éclairement du *Geitleria* / éclairement au dehors, sont notées le matin tandis que les plus fortes (de 1/1500e à 1/10000e de l'éclairement extérieur, selon l'orientation) le sont pendant les périodes de seulement 2 à 3 heures entre 12 h et 16 h 30 selon la saison. L'été, en terrain découvert sous 45° de latitude et par beau temps, l'éclairement dépasse 50% du maximum pendant environ 9 heures (BALDY, 1973). Toujours à l'extérieur mais par temps pluvieux et sans couvert végétal, l'éclairement est environ dix fois plus faible qu'en plein ensoleillement, alors que dans la grotte de Quinçay il est toujours de quinze à vingt fois plus faible. De plus, des variations brusques d'éclairement en terrain découvert ne sont notées que par temps instable. La profondeur importante de la grotte est donc responsable, essentiellement d'une forte diminution globale de l'éclairement journalier, et aussi d'une réduction de la période durant laquelle celui-ci est voisin de son maximum ainsi que de brusques variations relatives d'éclairement. Tout ceci tient essentiellement à l'orientation de l'ouverture

et à ses dimensions. L'optimum d'éclairement de janvier à mars, peut être expliqué par l'absence de couvert foliaire au niveau de l'entrée de la grotte, le soleil étant aussi assez bas sur l'horizon (au S-O ou à l'Ouest, face à l'entrée de la grotte). On notera cependant que le soleil ne peut jamais pénétrer très profondément (jusque vers 10 à 12 m) car le plafond de la grotte, de même que son sol, ont tendance à monter légèrement entre la zone B (Fig. 1), assez proche de l'entrée, et le fond.

Comme mentionné plus haut, une grande partie de la grotte n'est colonisée par aucun végétal. Cette zone reçoit un éclairement équivalent à quelques millièmes seulement de celui de l'extérieur et correspond à un intervalle aphytique séparant l'entrée qui donne asile à des végétaux variés et le fond de la grotte occupé exclusivement par le genre *Geitleria*. Une situation analogue a été observée par HALLDAL (1968) chez des algues endozoïques de coraux. Ainsi, dans la partie supérieure du récif vivant, en association avec l'animal, des algues à chlorophylle *c*. Elles reçoivent des éclairagements de l'ordre de quelques centièmes de l'intensité lumineuse externe. Plus profondément dans le corail s'étend une zone fortement diffusante, totalement dépourvue d'algues. Enfin, au-delà de cette partie inhabitée apparaît une nouvelle région qui renferme, cette fois, des algues vertes siphonnées du genre *Ostreobium*. La partie supérieure de cette région reçoit une lumière surtout rouge dont l'énergie est voisine du 1/1000e de celle de surface, tandis que sa partie inférieure n'en reçoit que la 1/100.000e partie seulement. Chez *Ostreobium*, la lumière n'est pratiquement présente que pour des longueurs d'onde supérieures à 700 nm, alors que chez *Geitleria* la composition spectrale de l'éclairement est proche de la normale (lumière polychromatique). De plus, chez *Ostreobium*, la variation journalière de la lumière est assez peu différente, en valeur relative, de celle de la surface du corail; chez *Geitleria*, comme on l'a vu plus haut, elle se distingue nettement de celle de l'extérieur de la grotte car la période d'éclairement proche du maximum est très courte. *Geitleria* possède un équipement pigmentaire qui lui permet de capter efficacement toute la lumière incidente, du violet jusque vers 730 nm (LECLERC et al., 1981).

Pour les colonies de *Cyanidium* de la grotte d'Angles-sur-l'Anglin, la même discussion peut être reprise dans l'ensemble. Il faut toutefois noter quelques différences dont une très importante. Les colonies de *Cyanidium* ont dans l'ensemble un éclairement semblable à celui des *Geitleria* poussant sur le plafond de la zone D (un peu plus fort en hiver, un peu plus faible en été, car le couvert foliaire de l'entrée de la grotte d'Angles est plus dense) mais environ cinq fois inférieur à celui des *Geitleria* poussant sur les faces éclairées des stalactites. La zone aphytique séparant *Cyanidium* des autres espèces est bien plus importante que celle isolant *Geitleria*, ce qui est dû à la topographie de la grotte. L'éclairement optimum a lieu le matin à Angles, l'après-midi à Quinçay. Surtout on notera que le soleil peut, pendant quelques dizaines de minutes par an, éclairer directement les colonies de *Cyanidium* (au moins l'une d'entre elles) contrairement à *Geitleria*. Or, en France tout au moins, les grottes abritant des colonies pures de *Geitleria* sont différentes de celles où se trouve *Cyanidium*, bien que les substrats rocheux et éclairagements moyens soient très semblables, pourtant les animaux tels que les chauve-souris doivent aisément propager les

Geitleria d'une grotte à une autre. Le *Geitleria* ne peut peut-être pas résister à un ensoleillement direct même très court, contrairement à *Cyanidium*, ce qui expliquerait la répartition des deux espèces.

La Rhodophycée *Phragmonema sordidum*, pour sa part, est soumise à une action de la lumière nettement supérieure à celle reçue par *Geitleria calcarea* d'une part et (sauf en cas d'ensoleillement direct) par *Cyanidium* sp. d'autre part, et de plus d'intensité proche du maximum pendant une longue période de la journée estivale. S'il n'en est pas de même en hiver, il faut noter toutefois que l'algue peut alors recevoir 300 à 500 lux (≈ 1 à 2 W.m^{-2}) durant deux à trois heures par jour, et que la température est relativement basse en cette saison (4 à 6°C), ce qui permet, a priori, une vie ralentie avec intensité respiratoire réduite pendant les périodes sans lumière. La localisation de colonies pures de *Phragmonema* à des endroits précis pourrait être due non au régime lumineux mais plutôt à l'humidité. Il est bien connu qu'un certain nombre de Cyanophycées vivent communément dans des milieux qui ne reçoivent que 100 à 1000 lux (MEFFERT, 1971; COHEN-BAZIRE et al., 1977), c'est pourquoi diverses Cyanophycées sont souvent mêlées à *Phragmonema* dans l'église de Verrines.

Les conditions naturelles de l'éclairement peuvent avoir de profondes répercussions sur la photosynthèse. Il est possible, en premier lieu, que la vitesse maximale de celle-ci soit plus importante chez *Phragmonema* que chez *Geitleria* et obtenue pour des éclairagements plus élevés ce qui, selon JORGENSEN (1969), serait une manifestation fondamentale de l'adaptation. Dans le cas des trois organismes étudiés, l'existence, même par beau temps stable, de variations brusques d'énergie lumineuse peut conduire à une grande capacité d'ajustement photosynthétique (BOURDU et PRIOUL, 1974). Enfin, il faut considérer tout particulièrement ici comme possible la réalité de rythmes annuels et circadiens de l'assimilation chlorophyllienne. Les rythmes circadiens sont les plus probables car, non seulement ils sont très répandus et aussi souvent accentués chez les algues (PREZELIN et LEY, 1980) mais ici les organismes n'ont que des périodes très courtes d'éclairement maximum au cours des journées de beau temps, phénomène pouvant favoriser de tels rythmes. Un premier cas intéressant est celui de *Geitleria* qui, en hiver, reçoit vers 14 h 30 et seulement durant une vingtaine de minutes un éclairement sensiblement plus fort, dont l'algue doit probablement tirer profit. Le cas de *Cyanidium* est cependant bien plus spectaculaire car là, une adaptation particulière est requise durant quelques minutes par jour et à la même heure, et cela pendant une seule courte période précise de l'année. L'algue doit alors supporter pendant quelques minutes un éclairement de 500 à 2000 fois supérieur à celui du reste de la journée, et ceci par un mécanisme qui reste à étudier. Il est très douteux que ce *Cyanidium* ait en permanence un comportement de végétal vivant au soleil. Il est aussi connu que des ensoleillements courts peuvent être léthaux pour des algues rouges marines vivant en profondeur (BIEBL, 1956). Il semble donc que ce *Cyanidium* doive permettre une étude de mécanismes d'adaptation très rapides à des éclairagements forts.

Les trois algues étudiées ici doivent non seulement avoir la meilleure activité photosynthétique avec l'éclairement dont elles disposent, mais également sur-

vivre à l'obscurité ou en lumière du jour très faible, ce qui est le cas le plus fréquent; ainsi *Phragmonema* ne dispose que de 10 lux en moyenne par jour pluvieux d'hiver; *Geitleria*, quant à lui ne reçoit que de 0,2 lux à 1 lux dans les mêmes conditions. Ceci implique d'une part, un métabolisme basal très faible de ces végétaux, et d'autre part, une capacité élevée de mise en réserve de substances trophiques (formées pendant les rares périodes favorables) facilement mobilisables. Chez *Geitleria*, le transport des réserves peut, sans doute, s'effectuer aisément de cellule à cellule par l'intermédiaire des synapses très développées (COUTÉ, 1982).

Bien que l'on ait montré que chez certaines algues une croissance sur milieu organique est favorisée par l'apport d'un peu de lumière (KARLANDER et KRAUSS, 1966), l'hypothèse d'une forme de photohétérotrophie ne semble pas à retenir à propos de *Geitleria calcarea*. Ses colonies sont en effet pures et leur substrat ne fournit vraisemblablement aucun apport organique. Une photohétérotrophie est a priori encore plus douteuse pour *Cyanidium* sp. dont aucune colonie ne reçoit même d'eau d'infiltration. Quant à *Phragmonema sordidum*, si on fait aussi abstraction de l'éventualité peu probable également d'un tel mode de nutrition, les températures basses en hiver (4 à 6°C) ainsi que l'éclaircissement souvent très faible doivent faciliter une respiration réduite et, de ce fait, une survie sans autre apport énergétique que celui de la lumière. Une lumière très faible, seul apport énergétique, ne peut assurer qu'une vitesse de croissance très lente, dont dans l'attente de cultures en laboratoire, nous n'avons aucune preuve directe. On peut toutefois noter que sur une stalactite en formation de la grotte de Quinçay, des couches de *Geitleria* sont incluses dans la masse calcaire, ce qui indique une vitesse de croissance des filaments nettement inférieure à l'épaississement de la stalactite qui n'est probablement que de quelques μm par an. Il faut aussi considérer qu'à Angles une colonie de *Cyanidium* sp. porte des graffiti dont certains semblent dater de quelques dizaines d'années et que ces derniers n'ont pas encore été recolonisés par le *Cyanidium*.

Les pourcentages d'humidité observés ne sont peut-être pas défavorables à une activité photosynthétique des algues au moins à certains moments. En effet, dans la grotte à *Geitleria* la teneur en vapeur d'eau atmosphérique est la plus forte par beau temps l'après-midi alors que l'éclaircissement est le meilleur. Une explication de ce fait a été suggérée plus haut (cf. p. 12). Le même phénomène se retrouve, quoique moins régulièrement, dans l'église de Verrines. Le *Cyanidium* semble toujours bénéficier d'une humidité proche de 95 % et de plus ses cellules apparaissent protégées par une paroi très épaisse, résistante et complexe d'après la microscopie électronique. On doit cependant noter que l'hygrométrie de l'air au niveau des algues peut aussi descendre jusqu'à 80 % tant dans la grotte de Quinçay que dans l'église de Verrines. Le fait que *Phragmonema* ne pousse à l'état pur que dans une certaine bande de hauteur du mur (tant à Verrines qu'à Soudan) montre que si un excès d'eau infiltré, depuis le sous-sol à Soudan, ou le ruisseau souterrain à Verrines, est nuisible à sa compétition avec les Cyanophycées, la simple humidité de l'air qui existe comme seule source d'eau à plus grande hauteur sur les murs ne suffit pas à sa subsistance. Il faut en effet considérer alors que les algues n'auraient, à cette hauteur de mur, que

de la vapeur d'eau dont le potentiel hydrique est quelquefois de - 20 à - 30 atm mais peut aussi descendre aussi bas que - 200 à - 250 atm. S'il y a trop d'eau, soit par proximité de l'eau souterraine, soit par infiltration d'eau de pluie sur certaines parties des murs, les Cyanophycées sont toujours présentes et *Phragmonema* peut même disparaître. Une certaine résistance de *Phragmonema* à la sécheresse temporaire pourrait s'expliquer par la forte épaisseur des mucilages enveloppant les cellules. L'incidence de l'humidité est même importante pour *Geitleria* qui disparaît des surfaces au plafond lorsqu'elles sont au loin de toute infiltration d'eau ou très souvent aussi de celles où l'eau est apparente. *Geitleria* et *Phragmonema* ont donc besoin d'une petite quantité d'eau provenant du substrat calcaire; il en est peut être de même pour *Cyanidium* qui curieusement ne se rencontre que sur certains rochers.

Cyanidium sp. et *Geitleria calcarea* vivent dans des éclaircissements très faibles qui ne sont compatibles qu'avec la survie de peu d'espèces contrairement à *Phragmonema* qui ne représente pas un cas aussi extrême.

Les organismes dont les conditions naturelles de vie ont été étudiées ici, constituent donc un matériel de choix pour des travaux d'écophysologie de la photosynthèse, de la conservation de l'énergie, de la croissance lente, de l'économie de l'eau, de la circulation des substances, et pour le cas précis de *Cyanidium* sp., de la résistance à une très forte augmentation de l'éclaircissement.

REFERENCES

- BALDY, C., 1973 — Étude de peuplements de blé tendre (*Triticum aestivum* L. em. Thuel.) : croissance, répartition de la lumière et assimilation nette. Thèse de Docteur-Ingénieur n° 188, Université de Paris-Sud.
- BIEBL, R., 1956 — Lichtresistenz von Meeresalgen. *Protoplasma* 46 : 75-86.
- BOURDU, R. & PRIOUL, J.L., 1974 — Réponses photosynthétiques de type adaptatif aux climats lumineux de croissance : étude théorique, applications et diagnostic précoce. *Physiol. Vég.* 12 : 35-51.
- COHEN-BAZIRE, G., BEGUIN, S., RIMON, S., GLAZER, A.N. & BROWN, D.M., 1977 — Physico-chemical and immunological properties of allophycocyanins. *Arch. Microbiol.* 111 : 225-238.
- COUTÉ, A., 1982 — Ultrastructure d'une Cyanophycée aérienne calcifiée cavernicole : *C. calcarea* Fried. *Hydrobiologia* 97 : 255-274.
- HALLDAL, P., 1968 — Photosynthetic capacities and photosynthetic action spectra of endozotic algae of the massive favia. *Biol. Bull. mar. biol. lab. Woods Hole* 134 : 411-424.
- HEALEY, F.P. & MYERS, J., 1971 — The Kok effect in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiol.* 47 : 373-379.
- JORGENSEN, E.G., 1969 — The adaptation of plankton algae. IV. Light adaptation in different algal species. *Physiologia Pl.* 22 : 1307-1315.
- KAREANDER, E.P. & KRAUSS, R.W., 1966 — Responses of heterotrophic cultures of

- Chlorella vulgaris* Beijerinck to darkness and light. I. Pigments and pH changes. *Plant Physiol. Lancaster*, 41 : 1-6.
- LECLERC, J.C., COUTÉ, A. et HOARAU, J., 1981 — Pigments and photosynthetic activity adaptations in some algae living in low light places. Photosynthesis VI. Photosynthesis and productivity, photosynthesis and environment (Ed by G. Akoyounoglou), pp. 443-453. Balaban, Philadelphia PA.
- LECLERC, J.C., DOHLER, G. & ROSSLENBROICH, H.J., 1982 — $^{14}\text{CO}_2$ fixation under various limited light conditions in *Porphyridium cruentum*. *Plant Sc. Lett.* 24 : 225-229.
- MEFFERT, M.E., 1971 — Cultivation and growth of two planktonic *Oscillatoria* species. *Mitt. Internat. Ver. Limnol.* 19 : 189-205.
- PHILLIPS, P.J. & McWILLIAMS, J.R., 1971 — Thermal responses of the primary carboxylating enzymes from C_3 and C_4 plants adapted to contrasting temperature environments. Photosynthesis and Photorespiration (Ed by Hatch, M.D., Osmond, C.B., et Slatyer, R.O.), pp. 97-104.
- PREZELIN, B.B. & LEY, A.C., 1980 — Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence rhythms of marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 55 : 295-307.

GROTTE DE QUINCAY

VARIATIONS DE TEMPERATURE

Date	Beau temps				Date	Pluvieux			
	minimum		maximum			minimum		maximum	
	heure	t°	heure	t°		heure	t°	heure	t°
11.2	8-10	8,0	16-18	7,2	7.2	2-10	7,0	16-22	7,3
27.3	8-9	7,8	17-18	9,0	23.3	6-10	8,0	16-20	8,4
23.6	8-10	11,2	16-18	12,0	25.6	2-14	11,5	17-18	11,8
8.10	8-10	11,3	16-17	13,2	4.10	6-8	12,0	16-22	12,4

EGLISE DE VERRINES

Date	Beau temps				Date	Pluvieux			
	minimum		maximum			minimum		maximum	
	heure	t°	heure	t°		heure	t°	heure	t°
31.1	8-9	4,0	16-20	4,7	4.2	8-10	6,0	16-20	6,1
2.4	8-10	9,3	18-22	9,9	1.4	8-12	9,1	16-22	9,3
1.7	6-8	13,1	12-22	14,0	28.6	6-12	14,3	16-18	14,5
13.10	7-9	13,3	14-16	13,6	15.10	0-10	14,0	12-14	14,1

TABLEAU I

TEMPERATURE ET HUMIDITE DANS LA GROTTE D'ANGLES SUR L'ANGLIN

Les mesures ont été faites par beau temps le 13 Mars 1982 ou par beau temps avec quelques passages nuageux aux deux autres dates.

Date	Température				Humidité			
	Minimum		Maximum		Minimum		Maximum	
	t°	Heure	t°	Heure	% H ₂ O	Heure	% H ₂ O	Heure
26.1.82	4	8-10	4,3	14	89	12-14	93	9
18.3.82	5	8	5,3	12-14	94	13-14	95	10-11
19.6.81	10	10-16	10,2	0-2	92	8-9	94	0-6

TABLEAU II

VARIATIONS DE L'HUMIDITE

GROTTE DE QUINCAY

Date	Beau temps				Date	Pluvieux			
	minimum		maximum			minimum		maximum	
	heure	%	heure	%		heure	%	heure	%
11.2	8-10	80	15-17	85	7.2	3-8	90	14-22	91
-	-	-	-	-	23.3	2-10	91	14-22	92
21.6	8-7	88	12-16	92	25.6	0-12	93	12-24	93
8.10	7-9	86	19-22	92	5.10	0-12	92	12-24	92

EGLISE DE VERRINES

Date	Beau temps				Date	Pluvieux			
	minimum		maximum			minimum		maximum	
	heure	%	heure	%		heure	%	heure	%
30.1	8-12	90	17-19	92	3.2	0-7	94	19-22	98
2.4	8-10	85	20-24	92	5.4	0-8	93	20-24	94
1.7	6-7	79	10-12	90	9.7	0-12	93	12-24	93
13.10	13-16	79	20-21	82	13.10	14-24	89	2-10	90

TABLEAU III

(% = pourcentage d'humidité).

ECLAIREMENT DE LA GROTTÉ DE QUINCAÏ

a) Eclaircissement perçu par les détecteurs horizontaux (exprimé en durée journalière au dessus d'un seuil donné, en W.m^{-2} ; 1 W.m^{-2} est équivalent à 0,2 lux)

Date	Bonne temps					Pluvieux			
	> 5	> 10	> 15	> 20	> 25	> 1	> 1,5	> 2	> 2,5
7.2	-	-	-	-	-	3h	-	-	-
11.2	4h40	3h40	45m	5m	-	-	-	-	-
23.3	-	-	-	-	-	4h	30m	-	-
26.3	6h50	5h30	4h	2h	1h30	-	-	-	-
21.6	4h30	2h20	-	-	-	-	-	-	-
25.6	-	-	-	-	-	6h	3h45	2h30	1h30
4.10	-	-	-	-	-	4h	2h20	35m	10m
7.10	2h30	-	-	-	-	-	-	-	-

b) Eclaircissement perçu par les détecteurs verticaux

Date	Bonne temps					Pluvieux			
	> 25	> 50	> 100	> 150	> 200	> 250	> 10	> 15	> 20
7.2	-	-	-	-	-	-	4h30	3h	-
11.2	6h15	5h15	4h10	2h40	1h05	15m	-	-	-
23.3	-	-	-	-	-	-	5h	1h	-
26.3	9h	7h40	6h20	5h50	5h	3h	-	-	-
21.6	9h	5h50	3h40	2h20	-	-	-	-	-
25.6	-	-	-	-	-	-	6h	6h30	3h
4.10	-	-	-	-	-	-	4h30	2h50	30m
7.10	4h10	3h	-	-	-	-	-	-	-

(h = heures ; m = minute)

ECLAIREMENT REÇU PAR LA COLONIE DE CYANIDIUM (GROTTE D'ANGLÈS SUR L'ANGLÈS)

L'éclaircissement est indiqué en durée (heures et minutes) au-dessus d'un seuil en W.m^{-2} . Les mesures ont été faites par beau temps le 13 Mars, ou par beau temps avec quelques passages nuageux aux autres dates.

Notes	> 2,5.10 ⁻³	> 5.10 ⁻³	> 0,01	> 0,025	> 0,05	> 0,1	> 0,25	> 1	> 10	> 50
28.1.82	-	-	3 h 30	1 h 10	15 min	0	0	0	0	0
13.3.81	-	-	-	-	4 h 10	2 h 10	50 min	13 min	12 min	6 min
19.6.81	7 h	3 h 15	10 min	0	0	0	0	0	0	0

TABLEAU V

ECLAIREMENT DE L'ÉGLISE DE VERRINES

L'éclaircissement est exprimé en durée journalière au dessus d'un seuil donné, en W.m^{-2} (1 W.m^{-2} est équivalent à 200 lux).

Date	Bonne temps							Pluvieux				
	0,05	0,1	0,25	0,5	1	1,25	2	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5
30.1	8h40	7h50	6h50	6h20	5h20	3h40	1h10	-	-	-	-	-
3.2	-	-	-	-	-	-	-	7h	4h	25m	-	-
2.4	12h20	11h50	10h20	8h30	4h	40m	-	-	-	-	-	-
8.4	-	-	-	-	-	-	-	12h20	12h	11h30	7h50	20m
30.6	14h48	14h10	13h10	4h20	-	-	-	-	-	-	-	-
5.7	-	-	-	-	-	-	-	14h40	14h	13h10	4h10	30m
14.10	-	-	-	-	-	-	-	6h50	4h30	1h15	-	-
17.10	9h50	8h50	7h30	6h40	2h45	2h10	-	-	-	-	-	-

(h = heures ; m = minute)

TABLEAU IV

TABLEAU VI